

GIORGIO MARINELLI

LE TUFITI

Lo studio accurato dei prodotti vulcano-sedimentari non ha mai attirato un gran numero di studiosi delle scienze geologiche. Io credo che ciò sia dovuto soprattutto al fatto che non veniva data una particolare importanza a questi prodotti. A parte qualche raro studioso che si è dedicato alla loro classificazione, la maggior parte dei geologi che si sono dedicati allo studio dei livelli vulcano-sedimentari sono ricercatori che si sono trovati di fronte a questi prodotti in aree in cui facevano studi di geologia generale. Alcuni di questi geologi hanno compiuto ricerche accurate, hanno cercato le classificazioni esistenti su questi prodotti, non le hanno trovate confacenti con i materiali che hanno trovato e hanno cercato di adattare e modificarle, molto spesso con ottimi risultati e con osservazioni di dettaglio molto precise.

Se posso permettermi un piccolo appunto a questa categoria di persone, peraltro benemerite, è che non si sono molto preoccupati di studiare i problemi vulcanologici che sono sempre alla base di tutte le formazioni vulcano-sedimentarie. Ciò diminuisce la credibilità di molte ipotesi interpretative sulla genesi dei prodotti vulcano-sedimentari, poiché è carente la conoscenza del problema di origine, ossia del problema da *dove* e *in che modo* si è formata la porzione vulcanica di questi prodotti.

Conoscendo questi fenomeni più a fondo, è più facile ricostruire gli eventi successivi che hanno portato alla loro deposizione ed al loro mescolamento con altri tipi di sedimenti. Si potranno di conseguenza trarre delle conclusioni anche di ordine generale, oltre che di ordine locale, e tali conclusioni possono avere importanza non solo per le conoscenze geologiche, ma spesso anche per problemi veramente importanti di geochimica distributiva, di magmatologia, di processi anatetici ed anche di genesi di giacimenti minerali.

Vorrei premettere che non sento un'attrazione particolare per i problemi classificativi, forse perché non ho la mentalità adatta, ma li

ritengo ugualmente problemi interessanti, poiché le classificazioni sono assolutamente indispensabili al progresso della ricerca scientifica. Senza classificazioni mancherebbe il veicolo di comprensione tra gli studiosi, ma a me le classificazioni non piacciono, forse anche perché ho purtroppo fatto parte, parecchi anni fa, di una commissione internazionale di nomenclatura di prodotti vulcanici.

Ho scoperto in quella occasione la labilità dei motivi logici che dovrebbero essere alla base di qualsiasi nomenclatura scientifica. Tutti gli argomenti etimologici, filologici e di precedenza nell'uso di un certo termine quasi sempre passavano in secondo ordine rispetto ai motivi dettati dallo sciovinismo scientifico delle nazioni o dal prestigio personale dei singoli studiosi. Un accordo generale non veniva mai raggiunto, e così la commissione si aggiornava di anno in anno finché non si è sciolta per stanchezza senza aver concluso quasi nulla.

Se posso permettermi una breve divagazione, vi racconterò quello che accadde in una di queste sedute. L'argomento era la parola « lava », la cui origine sembrava a tutti chiara e indiscutibile, salvo a me. Tutti erano d'accordo nel ritenere che la parola « lava » derivasse dal verbo italiano « lavare », che deriva a sua volta dall'identico verbo latino. Questa radice latina ha prodotto verbi simili nelle lingue neo-romanze, come il Francese e lo Spagnolo, spiega ad esempio il buon Bullard nel suo noto libro di Vulcanologia, ed anche in Inglese, ove Bullard cita il termine non proprio scientifico di « lavatory ».

Tale faciloneria pseud-etimologica mi lasciò sbalordito. Mi azzardai a dire che nessuno ha mai pensato a lavarsi con la lava, e d'altronde questa parola era sconosciuta ai latini come agli italiani prima del Rinascimento. Le colate di lava erano chiamate « correnti » e la radice « lav » era celtica e non latina, anche se la parola « lava » era stata usata per la prima volta a Napoli nel 1500.

Tutti i membri della commissione mi guardarono come se fossi un rinnegato, ossia uno studioso che rinnegava le glorie della propria lingua. Non ritenni opportuno insistere. Sarebbe stato troppo lungo e complicato spiegare, innanzitutto, che nell'Italia antica tutta la valle del Po era abitata da popoli che parlavano lingue celtiche; che questi popoli, tra l'altro, avevano fatto alcune volte, e con successo, la marcia su Roma. Che altri popoli di lingua celtica, quali i Longobardi, erano arrivati a Benevento, e i Normanni avevano dominato per tanto tempo l'Italia meridionale e la Sicilia. Avrei potuto inoltre ricordare che

nelle regioni italiane ove esistono vulcani attivi, ai tempi della repubblica romana si parlava il greco, e non il latino. Sembrava quindi assurdo e anacronistico sostenere che il prestigio linguistico delle parole italiane entrate nella terminologia scientifica internazionale fosse da ricercarsi nella radice latina di tali parole.

Non dissi nulla di tutto ciò ai dotti componenti della commissione, ma mi convinsi che non ero assolutamente adatto a occuparmi di classificazioni.

E veniamo alle tufiti. E' noto che questo nome è stato creato verso la fine del secolo scorso da Johannes Otto Conrad Mügge, bravo e serio studioso tedesco il quale non ha mai fatto nulla di straordinario per il progresso delle nostre scienze. Ha fatto buoni lavori sulle rocce vulcaniche delle Azzorre e su rocce metamorfiche di vari luoghi. Mügge quindi, a parte i tre nomi di battesimo, era un buon petrografo che si è occupato un po' di tutto, come usava in quel periodo a cavallo dei due secoli. Il significato dato da Mügge al termine « tufite » era quello di un sedimento costituito in parte da prodotti di origine vulcanica, in parte da prodotti di altra origine. Questo studioso non precisò dove e come si potevano formare questi sedimenti, lasciando quindi aperte notevoli possibilità.

Pur non avendo fatto una ricerca bibliografica molto accurata, mi pare che tale termine non fu usato che raramente fino alla fine della prima guerra mondiale, forse anche perché le ricerche geologiche nelle aree vulcaniche non erano molto alla moda in quel periodo. Il termine tufite fu reintrodotta autorevolmente dalla grande scuola vulcanologica olandese che, con i suoi studi sull'arco insulare indonesiano, portò un contributo fondamentale al rinnovamento della vulcanologia classica, basata fino ad allora quasi esclusivamente sullo studio dei vulcani italiani.

Gli studiosi olandesi utilizzarono il termine tufite solo per prodotti depositi in acqua, principalmente sottomarini, ma anche sub-lacustri. Essi non precisarono se fosse o meno necessaria la presenza di materiale sedimentario di origine non vulcanica per chiamare tufite un deposito di prodotti vulcanici più o meno frammentari.

Io ritengo che il problema della presenza di una porzione non vulcanica sia del tutto inessenziale per attribuire il nome « tufite » a un sedimento di origine prevalentemente vulcanica, e con questo credo di rientrare nella normale accezione del termine utilizzato dalla mag-

gior parte degli studiosi. Agli specialisti di classificazioni lascio volentieri il compito di suddividere le tufiti a seconda delle proporzioni dei detriti di diversa origine, come hanno già fatto ad esempio, e limitandomi agli studiosi italiani, in alcuni buoni lavori A. Castellarin e G. Pasquaré assieme a P. A. Rossi, che hanno apportato varianti e precisazioni alla nota classificazione proposta da R. V. Fisher.

Vorrei invece insistere a che il nome di tufite venisse riservato ai materiali depositi in acqua. La definizione può apparire ovvia, perché non mi risulta che nessuno studioso abbia mai utilizzato questo termine per depositi subaerei di origine vulcanica, fossero o no mescolati con prodotti di altra origine. Per fare un esempio, nessuno ha mai pensato di chiamare « tufiti » le arenarie di Val Gardena, anche se questa formazione sedimentaria desertica del Permiano rientrerebbe benissimo per la sua composizione mineralogica nella definizione originaria del Mügge.

Per contrapposizione il termine « tufo » dovrebbe essere, a mio avviso, riservato ai prodotti piroclastici di origine subaerea e depositi in ambiente subaereo che hanno subito un successivo processo di litificazione. Tale termine andrebbe del tutto abbandonato per i prodotti piroclastici depositi in bacini lacustri o sui fondi marini, a cui dovrebbe essere sempre attribuito il nome di « tufite », prescindendo dal fatto che questi depositi contengono o meno prodotti di origine non vulcanica.

A parte il termine « tufo palagonitico », ormai giustamente cancellato dalla terminologia dei prodotti vulcanici per merito degli studi di A. Rittmann, il termine « tufo » non viene praticamente mai utilizzato dai vulcanologi per indicare prodotti piroclastici depositi in acqua. Esso è invece usato spesso da geologi del sedimentario al posto di tufite, anche quando il prodotto rientra nella definizione originaria del Mügge.

Cito qui ad esempio il recente dizionario geologico di M. Manzoni, ove i tufi vengono definiti « rocce di deposito piroclastico subaereo o sottomarino » ed i frequenti « tufi fossiliferi » citati dai geologi, nei quali tufi i fossili dovrebbero rappresentare i miseri resti di organismi che vivevano ben al caldo nell'interno dei condotti vulcanici.

Tengo a precisare inoltre che il termine « tufo », per unanime decisione di una commissione internazionale, deve essere riservato ai prodotti piroclastici ben diagenizzati, ossia litificati per varie cause. Tra

queste le più frequenti sono la zeolitizzazione, le reazioni di tipo pozzolaniche dovute a circolazione di acque termali, o la cementazione dovuta a apporto da soluzioni circolanti. I prodotti piroelastici di deposizione subaerea non ancora diagenizzati non debbono essere chiamati tufi, ma conservano il nome dei prodotti piroelastici predominanti (cenneri, sabbie vulcaniche, lapilli, pomici, ecc.).

Per concludere quindi questa parte della mia esposizione, propongo che vengano chiamate « tufiti » tutti i prodotti fini di origine vulcanica subaerea, deposti direttamente o rideposti in acqua; propongo inoltre che vengano chiamate « tufiti ialoclastitiche » i prodotti fini di origine subacquea che sono stati risedimentati in ambiente subacqueo.

Riguardo alla nomenclatura, ne potremo accettare una che segnali le proporzioni di materiale elastico di origine non vulcanica. Non voglio inoltre addentrarmi nel problema dell'origine piroelastica o epielastica del materiale vulcanico, origine che ha certamente un notevole interesse sedimentologico e paleogeografico. Usando opportunamente il termine « tufite » seguito da uno o più aggettivi, oppure il nome di una roccia sedimentaria seguito dall'aggettivo « tufitico », penso si possa fare una classificazione semplice anche se non dettagliata, lasciando i termini più precisi al ristrettissimo campo degli specialisti o dei perfezionisti.

Vediamo ora di entrare nel dettaglio di una classificazione genetica delle tufiti che ritengo particolarmente importante, anche se finora è stata quasi del tutto trascurata dagli specialisti, salvo qualche accenno che ho trovato in un lavoro di A. Castellarin. La suddivisione che propongo è la seguente:

- 1) Tufiti derivati da prodotti dell'attività vulcanica sottomarina (in minima parte sublacustre o subglaciale).
- 2) Tufiti derivate da prodotti di attività vulcanica subaerea.

I prodotti del primo gruppo derivano da fenomeni di trasporto e risedimentazione di ialoclastiti, e quindi possiamo chiamarle « tufiti ialoclastitiche ». Nelle precedenti relazioni di questa tavola rotonda A. Rittmann e H. Tazieff hanno parlato diffusamente delle varie modalità di formazione di questi prodotti frammentari dell'attività vulcanica subacquea e talvolta subglaciale. Vediamo ora la distribuzione areale di questi prodotti, ossia cerchiamo di stabilire in quali ambienti geologici vi è la massima probabilità di avere eruzioni che generano ialoclastiti.

E' stato già precisato da A. Rittmann che le ialoclastiti provengono da magmi basici (basaniti, basalti di ogni tipo fino a andesiti basiche). Poiché i prodotti di vulcanismo acido sottomarino sono rari e poco conosciuti, è evidente che l'ambiente sottomarino è più favorevole alle eruzioni basiche. Le ragioni di questo fatto sono abbastanza semplici. Le zone sommerse della crosta terrestre ove più facilmente si genera l'attività vulcanica sono le dorsali oceaniche, i fondi oceanici, le fosse oceaniche e le piattaforme continentali sommerse. Dalle fratture che si formano in tutte queste zone fuoriescono solamente magmi di origine subcrustale.

Negli oceani lo spessore ridotto della crosta e l'attività normalmente di tipo fissurale impediscono nella maggior parte dei casi che si formino differenziati acidi. Mancano infatti sia i tempi di ristagno del magma che lo spazio adatto perché avvenga un frazionamento di cristalli sufficientemente spinto per produrre fusi residui sovrassaturi in silice. Motivi tettonici analoghi sono validi anche per le piattaforme continentali sommerse, malgrado che lo spessore della crosta in questo caso sia maggiore.

Infatti tali piattaforme, ove quasi sempre si depositano potenti serie di sedimenti carbonatici, permangono per tempi assai lunghi in condizioni prossime all'equilibrio isostatico. La tettonica disgiuntiva provoca raramente riaggiustamenti locali di peso nei blocchi che via via si frammentano. Le fratture che si formano sono in prevalenza verticali o subverticali e beanti da parti profonde del mantello superiore fino alla superficie. Attraverso queste fratture i magmi basici (di solito basalti alcalini fino a basaniti) risalgono rapidamente senza avere il tempo per produrre differenziati acidi.

A esempio di vulcanismo di piattaforma si può citare la Sicilia, visto che il Simposio ha luogo in questa bellissima isola. Tutti gli episodi noti di attività vulcanica sottomarina legati a questo modello tettonico hanno portato in superficie solo basalti alcalini o basaniti, che hanno dato origine, oltre che a colate compatte e pillow-lavas, a importanti quantità di ialoclastiti di varia origine. Questi episodi di vulcanismo di piattaforma sommersa sono numerosi in Sicilia ed hanno età molto diverse tra loro, dal Trias della regione di Ragusa, al Giura del Palermitano, al Cretaceo di Pachino. Negli Iblei infine si trovano livelli di questo tipo nel Cretaceo superiore e dal Neogene al Pleistocene.

Analizziamo ora i vari tipi di prodotti dell'attività vulcanica sottomarina in funzione della possibilità di formare tufiti ialoclastitiche. Se l'attività è quella del tipo descritto da A. Rittmann, ossia ialoclastiti associate a prevalenti formazioni di pillows, breccie di pillows o colate di lava, le probabilità di rimaneggiamenti di questi prodotti è molto scarsa.

Le correnti potranno certamente rimuovere le porzioni più minute dei frammenti vetrosi, e rideporle a distanza assieme a sedimenti di altra origine. Si potranno formare anche piccole frane (piccole perché le singole colate di pillows non sono atte a costituire rilievi importanti) e quindi qualche torbida di ialoclastiti potrà depositarsi non molto lontano dal luogo di origine.

Ben diverse appaiono le possibilità di rimaneggiamenti dei prodotti ialoclastitici di tipo esplosivo descritti da H. Tazieff. Questo tipo di attività può portare alla costruzione di edifici vulcanici anche di dimensioni gigantesche. E' infatti probabile che nei « sea-mounts » così frequenti nelle pianure abissali oceaniche la componente ialoclastitica sia rilevante, e forse prevalente. Questi « sea-mounts » come pure i vari tipi di coni ialoclastitici di piccole dimensioni così comuni in Danecalia, nelle isole del Mar Rosso e del Golfo di Tagiura, hanno tra le loro caratteristiche peculiari dei pendii esterni estremamente ripidi. I più comuni pendii sono dell'ordine di 30 gradi, ma alcuni superano i 45 gradi. Coni vulcanici a pendio esterno così ripido sono logici se si pensa che il deposito dei prodotti ialoclastitici esplosivi è rallentato dalla viscosità dell'acqua marina. Con pendii così ripidi, è evidente che la stabilità di queste pareti esterne dei vulcani ialoclastitici è molto precaria. Fino a quando i fenomeni di palagonitizzazione del vetro vulcanico basico non arriveranno a diagenizzare i prodotti ialoclastitici, vi è la possibilità che frane di porzioni importanti del cono siano provocate dal sovraccarico da accumulo, da eventi sismici importanti, o anche da una accentuazione del processo vulcanico esplosivo.

Questi « slumpings », le cui cicatrici si vedono bene ad esempio in alcuni coni ialoclastitici di isole vulcaniche presso lo Stretto di Bab el Mandeb, produrranno onde di torbida che possono estendersi su aree anche molto vaste e lontane dai luoghi di origine. Depositi gradati di questo tipo sono stati osservati da diversi studiosi ed erano considerati enigmatici, perché ritrovati intercalati a serie di ialoclastiti di deposizione normale su fondi pianeggianti.

Ricordo a questo proposito una spiegazione veramente temeraria data da un noto vulcanologo americano, A. R. McBirney. Questo studioso, avendo trovato indubbi livelli ialoclastitici gradati in una zona del tutto pianeggiante del grande plateau basaltico del Columbia River, nel NW degli Stati Uniti, immaginò l'intervento di fenomeni termoconvettivi per spiegare la turbolenza necessaria a formare tali livelli. Il calore per riscaldare l'acqua del mare sarebbe stato fornito dalle stesse schegge basaltiche vetrose.

Un esempio molto bello di una tufite ialoclastitica di questo tipo è offerta dal grande deposito vulcano-sedimentario lentiforme nel Trias della Val Duron, nelle Dolomiti, descritta accuratamente da M. Sacerdoti ed E. Somnavilla. Questa lente ha una omogeneità statistica veramente eccezionale, come può averla solo un deposito di un miscuglio fluido in cui le particelle solide sono tenute in sospensione nel liquido da fenomeni di turbolenza. Probabilmente questo sedimento vulcanico deriva da una porzione di un cono ialoclastitico forse molto lontano, e si è accumulato in una depressione morfologica che gli ha fatto assumere la forma lenticolare. La lente è composta solo da ialoclastiti fini e da cristalli di pirosseno, ben noti ai collezionisti. Forse il vulcanismo esplosivo ha prodotto solo frammenti minuti, oppure i frammenti più grossolani si sono depositi in luoghi diversi durante il trasporto della torbida a causa del loro peso maggiore.

Una origine da tufiti ialoclastitiche di questo tipo può essere supposta per certi livelletti di argille verdi, che si trovano talvolta intercalati a serie calcaree di piattaforma e che spesso hanno notevole importanza a causa della loro impermeabilità in problemi idrologici ed anche petroliferi. Poiché lo studio dei prodotti di trasformazione delle ialoclastiti ha progredito molto in questi ultimi anni, non dovrebbe essere difficile stabilire l'origine di tali livelli argillosi eseguendone uno studio chimico-mineralogico.

Ricordo uno di tali livelletti verdi associato con il giacimento stratiforme di galena di Gorno, nei calcari triassici del Bergamasco. Ma uscirei dal tema di questa tavola rotonda se volessi addentrarmi nel problema irto di scogli dei rapporti diretti o indiretti tra vulcanismo e mineralizzazioni stratiformi delle piattaforme carbonatiche.

Passiamo ora al secondo gruppo di tufiti, ossia a quello derivante dai prodotti del vulcanismo subaereo. Questo secondo tipo di tufiti è di gran lunga più diffuso del primo, o perlomeno sono più abbondanti

i prodotti che sono visibili nelle serie sedimentarie emerse. I prodotti del primo tipo infatti hanno probabilmente una grande importanza sui fondi oceanici, ma questi sfuggono alla nostra osservazione diretta.

Prima di addentrarsi nei problemi riguardanti la sedimentazione di questi prodotti, diamo uno sguardo d'insieme alle modalità di formazione dei frammenti di origine vulcanica.

E' chiaro che la probabilità di formazione di un prodotto tufitico sarà tanto più elevata quanto più elevata sarà la proporzione di prodotti piroclastici fini generati dall'attività di un determinato sistema vulcanico. In altre parole, diversamente da quanto accade per le rocce intrusive e metamorfiche, le rocce vulcaniche, sia massicce che scoriaee, hanno una bassa probabilità di produrre per alterazione superficiale grandi quantità di prodotti epiclastici a granulometria genericamente sabbiosa, ossia di quella dimensione che andrà a costituire la parte più facilmente riconoscibile delle tufiti.

I prodotti piroclastici ed anche le ignimbriti (specialmente quelle non troppo saldate) saranno quindi i rifornitori di gran lunga più importanti della porzione vulcanica delle tufiti.

Se diamo uno sguardo d'insieme al vulcanismo subaereo possiamo constatare che i sistemi vulcanici che producono la maggior parte delle rocce magmatiche di superficie sono di tre tipi.

- 1) Plateaux basaltici
- 2) Vulcanismo anatectico post-orogenetico
- 3) Vulcanismo calcocalcino orogenetico.

I plateau basaltici rappresentano la massa quantitativamente più importante di magmi che arrivano sulle terre emerse. La loro importanza è enorme per il ciclo geochimico degli elementi, perché la presenza di queste masse basiche tende a ridurre nel tempo la quantità media di silice e ad aumentare il tenore di calcio, magnesio e titanio della crosta sialica. La quantità di prodotti piroclastici fini è però minima in questo tipo di attività fissurale, e quindi i plateau basaltici non porteranno contributi apprezzabili alla formazione delle tufiti. Inoltre ragioni morfologiche ovvie limitano gli effetti erosivi di questi complessi tabulari.

Il vulcanismo anatectico post-orogenetico è invece molto ricco di prodotti facilmente disgregabili quali le ignimbriti ed i prodotti piroclastici fini. La loro importanza quale sorgente di alimentazione delle tufiti è però scarsa per motivi paleogeografici e tettonici.

Questi complessi vulcanici si generano infatti alla fine di un ciclo orogenetico, quando allo stadio compressivo si sostituisce una tettonica di tipo distensivo. E' inoltre necessario che un intenso ciclo erosivo abbia quasi completamente asportato la copertura sedimentaria plastica e peneplanato la regione. Solo in queste condizioni infatti i sistemi di fratture dello zoccolo rigido affiorante permetteranno la fuoriuscita di quantità enormi di magmi. In questo ambiente pianeggiante e lontano da fosse marine l'erosione ed il trasporto dei prodotti ignimbrici e piroclastici sarà molto scarso.

Ricordiamo qui il bellissimo esempio della potente piattaforma porfirica atesina, che è ancora ben conservata, malgrado fosse costituita in prevalenza da ignimbriti in origine assai poco saldate e da grandi quantità di prodotti piroclastici. Il clima arido e forse anche desertico del Permiano ha indubbiamente contribuito a conservare questa formazione, ma proprio il fatto che i prodotti del suo disfacimento, ossia le arenarie di Val Gardena, si trovino praticamente solo al di sopra delle vulcaniti indica che mancavano le condizioni paleogeografiche per il trasporto a distanza.

Ben diverse sono le condizioni vulcanologiche e paleogeografiche dei grandi sistemi vulcanici legati alle fasi attive delle orogenesi, e la cui conoscenza è molto buona, perché è proprio in queste zone che si trova il maggior numero di vulcani attivi.

Cominciamo con l'osservare che questi sistemi vulcanici permangono in attività per tempi geologici relativamente importanti, dell'ordine delle decine di milioni di anni. In secondo luogo, la quantità dei prodotti piroclastici fini emessi da questi vulcani (che è stata valutata da Rittmann in base alla statistica di Sapper sui vulcani attivi dal 1500 dopo Cristo in poi) è nettamente predominante sugli altri tipi di prodotti, tanto che il rapporto tra lave e piroclastiti è di circa uno a nove. Se noi prendiamo in considerazione uno di questi sistemi ancora parzialmente in attività, quali si possono trovare nella famosa « cintura di fuoco » circumpacifica, possiamo osservare che gli imponenti e maestosi vulcani centrali sono strato-vulcani in cui le lave predominano nettamente sui prodotti piroclastici. Questi si rinvengono ai piedi dei con, sia a costituire le grandiose formazioni di « lahars », sia, più lontano, in normali accumuli di prodotti piroclastici.

Una valutazione quantitativa ci indica che i prodotti fini sono sì superiori in volume alle lave, ma di due o tre volte, e non certo di nove. E' chiaro che le piroclastiti mancanti sono finite in mare, sia

direttamente durante le eruzioni, sia in seguito trasportate dai corsi d'acqua il cui scorrimento è favorito dalla morfologia montagnosa.

Per dare un'idea quantitativa del volume di piroclastiti prodotte da una singola eruzione esplosiva, citerò quella del vulcano Tambora, nell'isola di Sumbawa, nell'arco insulare indonesiano. Nell'aprile del 1815 questo vulcano emise in due soli giorni oltre 100 Km³ di piroclastiti fini, ossia una quantità sufficiente a seppellire tutta la Sicilia sotto quattro metri di ceneri. Si tratta, certo, dell'eruzione storica più importante per il volume dei prodotti emessi, ma eruzioni come quella del Tambora devono essere state tutt'altro che rare nell'attività vulcanica degli archi insulari.

D'altronde la labilità dei sistemi vulcanici orogenici è dimostrata anche dal fatto che — malgrado la loro indubbia importanza — è rarissimo che si trovino tracce degli apparati vulcanici nelle serie geologiche, mentre sono comunissime e abbondanti le tufiti che derivano da questo tipo di attività.

Per avere un quadro d'insieme sulle modalità di formazione delle tufiti costituite da prodotti del vulcanismo alcalicalcico, diamo uno sguardo alla struttura degli archi insulari, ove si manifesta tale vulcanismo, seguendo le più recenti ricerche al riguardo. In questi archi, che rappresentano lo stadio embrionale di un'orogenesi, vi è una notevole differenza nella morfologia dei fondi marini ai due lati della parte emersa. L'area dietro l'arco è talvolta costituita da una piattaforma continentale sommersa a fondo pianeggiante, come il Mare di Giava che costituisce il retro-arco della Sonda, o la parte orientale del Mar di Bering, dietro l'arco delle Aleutine e della penisola dell'Alaska. In altri casi subito dietro l'arco insulare vi è una pianura abissale, come nel caso della parte occidentale del Mar di Bering, o delle piattaforme profonde come quella delle Fiji, dietro l'arco delle Nuove Ebridi. Altre volte l'area retro-arco è costituita da un'alternarsi di porzioni di piattaforme continentali sommerse, di pianure abissali e di fosse marginali residue, come ad esempio il Mar del Giappone.

Ben diversa è la morfologia dal lato della fossa. Tra l'asse morfologico dell'arco insulare, ove più intensa è l'attività vulcanica, ed il fondo del trench, ove avviene la subduzione della crosta oceanica, vi è una fascia di 100-200 Km di larghezza a morfologia estremamente varia, con pendii a volte dolci, a volte ripidissimi, condizionati principalmente da una tettonica molto attiva.

E' dunque evidente che le condizioni di sedimentazione o di risedimentazione sui due lati dell'arco saranno notevolmente diversi. Nei bacini retro-arco si avrà in prevalenza una sedimentazione normale di accumulo, monotona su grandi distanze, senza vistosi fenomeni di slumping con conseguenti risedimentazioni. Dal lato della fossa invece si avranno condizioni di sedimentazione assai variabili con numerose zone di instabilità.

Gli slittamenti e le frane di sedimenti già depositi saranno molto frequenti nel tempo e nello spazio e porteranno all'accumulo di turbiditi nelle zone depresse della fascia tra l'arco emerso e la fossa, ma specialmente sul fondo della fossa stessa. In questa zona i flysch ricchi di prodotti vulcano-sedimentari provenienti dal vulcanismo alcali-calceico andranno ad associarsi ad altri flysch più antichi, anche questi contenenti prodotti di origine vulcanica, ma di composizione diversa ed in quantità nettamente inferiore. Si tratta dei flysch ofiolitici, la cui componente vulcanica è dovuta all'attività sottomarina dei magmi tholeiitici oceanici.

Uno studio sedimentologico accurato delle tufiti di questo tipo potrà quindi apportare utili indicazioni sulla posizione dell'arco vulcanico, tenendo naturalmente presente che accavallamenti tettonici successivi possono aver rimosso e dislocato tali formazioni.

Per concludere, cerchiamo di stabilire l'importanza quantitativa dei prodotti di origine vulcanica nelle grandi masse sedimentarie di flysch, ossia nei sedimenti più abbondanti dei cicli orogenetici.

Quando il prodotto vulcano-sedimentario ha una granulometria di tipo sabbioso, le tufiti o le arenarie tufitiche sono facili a distinguersi al microscopio anche se la porzione vulcanica è parzialmente o totalmente trasformata dall'alterazione o da processi metasomatici. Ricordo a questo proposito le grandi masse di tufiti turbiditiche legate all'orogenesi appenninica, scoperte inizialmente da L. Ogniben nell'Appennino calabro-lucano e in Sicilia, e ritrovate in seguito in varie zone dell'Appennino settentrionale.

Ma la maggior parte dei prodotti esplosivi del vulcanismo alcali-calceico non solo hanno granulometria più fine, ma sono costituiti da predominante materiale vetroso, che si altera molto più rapidamente delle fasi cristalline.

Quale è l'importanza quantitativa di questi prodotti? Il geologo assai raramente riesce a distinguerli sul terreno, anche se certe par-

ticolarità possono metterlo in sospetto. Le osservazioni microscopiche sono quasi sempre inefficaci, perché spesso nel sedimento pelitico non restano nemmeno tracce di cristalli di sicura origine vulcanica. Solo studi chimico-mineralogici molto accurati potrebbero risolvere il problema, ma sarebbe un lavoro veramente immane sottoporre a studi di questo tipo le molte migliaia di metri di spessore delle formazioni di flysch.

Recentemente uno studioso americano, W. R. Dickinson, ha avuto un'idea molto brillante per risolvere questo problema. Il ragionamento di questo geologo è stato il seguente. E' noto che i rapporti isotopici $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ sono molto bassi nelle rocce genericamente basaltiche e nella maggior parte delle rocce alcalicalciche delle aree orogenetiche. Questi rapporti sono invece più alti nell'acqua del mare, nei sedimenti carbonatici o evaporitici, e ancora più alti nella crosta sialica e nelle rocce di origine anatettica. Se dunque le masse di sedimenti fini dei flysch derivano dai normali processi di alterazione della crosta sialica, essi conserveranno rapporti elevati degli isotopi dello stronzio. Se invece in questi sedimenti prevale la componente vulcanica alcalicalcica, si otterranno rapporti più bassi. Una serie di determinazioni su campioni di flysch presi in zone diverse gli confermò il sospetto che la componente vulcanica alcalicalcica fosse ben più importante di quanto comunemente si creda, perché egli trovò nella maggior parte dei casi dei rapporti isotopici bassi.

E' evidente che ciò non vuol dire che tutti i flysch derivino da predominante materiale di origine vulcanica, ma solo che nella costituzione delle serie sedimentarie orogenetiche non carbonatiche i prodotti del vulcanismo alcalicalcico sono più importanti di quanto generalmente non si creda. Di questo fatto dovranno tener conto non solo i geologi, ma anche i geochimici e i giacimentologi.

Voglio ricordare infine un ultimo aspetto del problema delle tufiti ed è quello del loro riconoscimento nelle serie metamorfiche di epizona. Tralasciando il problema delle paragenesi di alta o bassa pressione e temperatura, che portano alle facies di scisti verdi e di scisti azzurri, penso che il problema possa essere affrontato in via preliminare in un modo molto semplice, ossia esaminando il contenuto in cloriti di tali rocce metamorfiche.

E' noto che le cloriti sono stabili in un ampio intervallo di temperatura e di pressione, e la loro abbondanza è quindi quasi sempre

condizionata solo dall'ambiente chimico. Prendiamo come esempio le rocce basaltiche a cristallizzazione avanzata. All'associazione magmatica originaria plagioclasio-pirosseno-olivina si sostituirà nella facies degli scisti verdi l'associazione albite-epidoti-anfiboli-calcite. Le cloriti sono sempre presenti, e la loro quantità sarà in prima approssimazione proporzionale al grado di alterazione che il basalto aveva subito prima del metamorfismo. Le cloriti infatti saranno tanto più abbondanti quanto più la roccia ha perduto calcio e metalli alcalini. Seguendo questa strada sembra peraltro difficile arrivare ad un cloritoscisto, ossia ad una roccia in cui le cloriti prevalgono nettamente sugli altri minerali della associazione stabile di basso metamorfismo.

Se invece consideriamo il prodotto frammentario del vulcanismo basaltico sottomarino, ossia le ialoclastiti e le tufiti ialoclastitiche, in queste la componente vetrosa prevale nettamente su quella cristallina. I numerosi studi moderni sulla palagonitizzazione, ossia sull'alterazione sottomarina di tali vetri basaltici, indicano che i prodotti più abbondanti sono le montmorilloniti magnesiache. E' evidente che il metamorfismo di tali prodotti darà scisti con cloriti nettamente predominanti sugli altri minerali.

La fenomenologia rimane assai simile se si considera il metamorfismo di prodotti vulcanici mediamente più ricchi in silice rispetto ai basalti, come sono quelli andesitico-dacitici degli archi insulari. Anche in questo caso la frazione vetrosa facilmente alterabile darà origine per metamorfismo ad abbondante clorite, associata però in questo caso a importanti quantità di quarzo. Poiché il vetro vulcanico è quasi sempre prevalente sui minerali cristallini nei prodotti piroclastici, e quindi nelle tufiti che da questi si originano, la presenza di abbondante clorite in uno scisto di varia composizione può rappresentare un indizio importante dell'origine tufitica di tale roccia metamorfica.